

# Rancang Bangun Sistem Pendeteksi Lubang pada kertas Tisu Berbasis Informasi Visual dengan Raspberry Pi

Andre Raditya Mutalip, Suwito, Tasripan, Hendra Kusuma

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia

e-mail: [andre.raditya.mutalip10@mhs.ee.its.ac.id](mailto:andre.raditya.mutalip10@mhs.ee.its.ac.id), [masaji@elect-eng.its.ac.id](mailto:masaji@elect-eng.its.ac.id), [tasripan@ee.its.ac.id](mailto:tasripan@ee.its.ac.id), [hendraks@ee.its.ac.id](mailto:hendraks@ee.its.ac.id)

**Abstrak**— Industri kertas tisu menggunakan sistem pendeteksi visual untuk mengendalikan kualitas seperti cacat berupa lubang dari produknya, tetapi sistem berupa kamera-kamera industri ini begitu mahal harganya. Maka dari itu, Tugas Akhir ini mengembangkan sistem pendeteksi lubang pada kertas tisu berbasis informasi visual dengan Raspberry Pi yang ekonomis. Hasilnya adalah sebuah sistem yang mengambil citra kertas tisu dari kamera, lalu diolah di Raspberry Pi dengan sebuah program yang disokong OpenCV. Jika terdeteksi lubang di kertas tisu, maka *buzzer* berbunyi melalui PLC. Berikutnya, dilakukan simulasi dan pengujian mekanisme penggulungan kertas tisu dengan lubang paling kecil 25 mm<sup>2</sup> dan ditemukan kecepatan optimal sistem 0,27 m/s. Hasilnya adalah sistem dengan nilai batas bawah 90° dan nilai batas atas 255° untuk programnya dan dapat mendeteksi lubang pada kertas tisu dengan kecepatan penggulungan maksimal 0,27 m/s. Sistem ini dapat ditingkatkan kecepatannya dengan penggunaan nilai batas adaptif, penggunaan dua atau lebih SBC, dan sistem pendingin. Sistem pun akan lebih mudah digunakan jika ditambahkan HMI, *data logger*, dan penanda kertas tisu.

**Kata Kunci**—Kertas tisu, pengendalian kualitas, pengolahan citra, PLC, Raspberry Pi.

## I. PENDAHULUAN

**P**RODUKSI merupakan kegiatan manusia untuk mengolah barang atau jasa dan meningkatkan kualitas atau kuantitas dari barang atau jasa tersebut untuk memenuhi kebutuhan manusia. Banyak faktor yang berperan dalam memperoleh kuantitas dan kualitas produksi yang baik.

Dalam pemilihan setiap produk yang akan dikonsumsi, konsumen seringkali mempertimbangkan kualitas dari produk tersebut dan sama halnya dengan perusahaan dalam memproduksi dan menyalurkan suatu produk selalu mengaitkan dengan kualitas. Kualitas merupakan derajat atau tingkat karakteristik yang melekat pada produk sehingga dapat memenuhi persyaratan dan keinginan. Hal ini berarti produsen harus dapat mengenali karakteristik dari suatu produk yang berhubungan dengan kualitas, lalu membuat suatu tolak ukur untuk mengendalikannya. Hal ini juga berlaku pada industri kertas tisu [1].

Sistem baru seperti Raspberry Pi akan mengubah pasar komputer industri murah ketika penghobi, pengajar, peneliti, dan pengembang mulai berpindah ke Raspberry Pi.

Pabrikasi yang berkompetisi dalam pasar kontrol industri, kontrol otomatisasi, dan SCADA harus mengawasi perkembangan Raspberry Pi yang terus berevolusi. Beberapa organisasi, mulai dari organisasi kecil sampai perusahaan besar seperti Intel telah memasuki pasar ini. *Raspberry Pi Foundation* pun adalah institusi yang tidak berfokus pada keuntungan dan dapat menurunkan harga tanpa perlu memperhatikan jumlah pendapatan. Pengembang-pengembang pun mulai mendapatkan pengalaman di bidang arsitektur ARM dengan sistem operasi seperti Linux. Inovasi ini didukung oleh sifatnya yang fleksibel dan *open source* sehingga Raspberry Pi akan terus berevolusi [2].

Maka dalam Tugas Akhir ini akan dibuat sebuah sistem sederhana yang digunakan untuk mengecek kualitas kertas tisu. Sistem ini diharapkan dapat mengecek adanya lubang atau tidak pada kertas tisu berdasarkan informasi visual yang didapat. Sistem ini merupakan integrasi dari kamera, Raspberry Pi, PLC, dan motor penggulung kertas tisu.

## II. TEORI PENUNJANG

### A. Raspberry Pi

Raspberry Pi merupakan *single-board computer* (SBC) yang memiliki ukuran seperti kartu ATM dan menyokong LINUX sebagai sistem operasi utamanya. Raspberry Pi dikembangkan oleh Raspberry Pi Foundation yang berdomisili di Britania Raya. Perancangan Raspberry Pi ini awalnya dimaksudkan untuk menyediakan komputer yang murah untuk anak-anak sebagai sarana untuk mempelajari bahasa pemrograman komputer. Raspberry Pi ini diluncurkan pada 29 Februari 2012 untuk pertama kalinya. Raspberry Pi memiliki dua model utama, Model A dan Model B. Perbedaan dari kedua model ini adalah besarnya *memory* yang disokong dan ada atau tidaknya *Ethernet port*. Model A memiliki *memory* 256 MB dan tidak menyokong *Ethernet port*, sedangkan Model B memiliki *memory* 512MB dan menyokong *Ethernet port* [3].

Raspberry Pi Model B+ menawarkan fitur-fitur sebagai berikut:

- 4 USB 2.0 Port
- 1 HDMI Port



- 1 *RCA Port* untuk keluaran video
- 1 *Audio Port* 3,5 mm
- 1 *Micro SD Card Port*
- 1 *RJ-45 Port (Ethernet LAN Port)*
- 17 *GPIO*

Raspberry Pi Model B+ akan digunakan sebagai sarana pengolahan citra dari produk kertas tisu dalam tugas akhir ini. Citra dari produk kertas tisu akan diolah melalui program C++ dengan *library* OpenCV yang dijalankan di dalam Raspberry Pi. Dengan program ini akan dilakukan pengendalian kualitas terhadap produk kertas tisu, memilah antara kertas tisu yang memenuhi persyaratan kualitas dan tidak.

### B. Programmable Logic Controller (PLC)

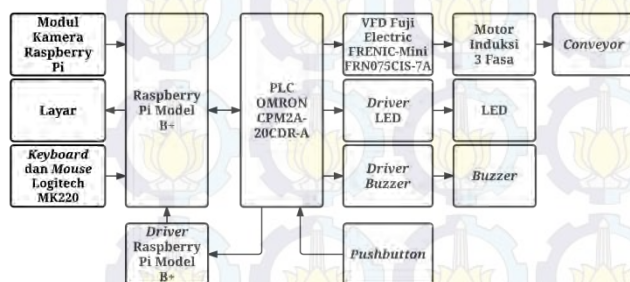
*Programmable Logic Controller* (PLC) adalah komputer digital yang digunakan dalam otomatisasi dari proses elektromekanik pada industri. PLC banyak digunakan di industri dan mesin. PLC dirancang untuk banyak masukan dan keluaran, kisaran suhu yang lebih luas, ketahanan terhadap gangguan elektrik, dan ketahanan terhadap getaran dan benturan. Program yang digunakan untuk mengatur operasi mesin biasanya disimpan dalam *Non-Volatile Memory* (NVM). PLC merupakan contoh dari sistem *real-time* di mana keluaran harus diproduksi sebagai respon dari kondisi masukan dalam jangka waktu yang terbatas. Jika tidak terpenuhi, maka operasi yang tidak diinginkan akan terjadi.

PLC OMRON CPM2A-20CDR-A termasuk jenis PLC compact karena memiliki modul I/O, CPU, dan lain-lain yang tergabung menjadi satu dalam sebuah modul. PLC ini memiliki 12 masukan digital dan 8 keluaran digital dan perlu dipasang dengan sinyal AC. Keluaran yang digunakan oleh PLC ini berjenis *relay output*. PLC tipe ini diprogram dengan bahasa pemrograman *ladder diagram* yang akan diunggah ke PLC melalui PC [4].

### C. OpenCV

*Open Source Computer Vision* (OpenCV) adalah *library* fungsi pemrograman yang khusus mengakomodasi *computer vision*, dikembangkan oleh pusat penelitian Intel Rusia di Nizhny Novgorod, dan didukung oleh Willow Garage dan Itseez. OpenCV bersifat gratis bebas digunakan siapa saja. *Library* ini dapat digunakan di banyak bahasa pemrograman dan berfokus pada pengolahan citra secara *real-time*.

## III. PERANCANGAN PERANGKAT KERAS

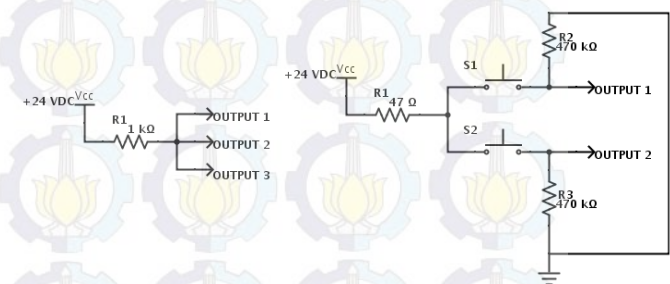


Gambar 1. Konfigurasi perangkat keras.

Perancangan perangkat keras sistem ini didasarkan pada kebutuhan sistem untuk bekerja secara lancar. Rangkaian elektrik digunakan sebagai pembatas arus dari sumber daya DC dan sebagai hasil keluaran akhir dari sistem. Perancangan mekanik merupakan rancangan dari perangkat keras yang digunakan untuk mendukung kerjanya sistem. Seluruh sumber daya DC yang diperlukan sistem akan disuplai oleh satu sumber daya DC. Motor induksi 3 fasa digunakan sebagai penggerak utama *conveyor* yang dikendalikan oleh VFD. PLC akan menunjang segala logika yang digunakan untuk mengendalikan segala keluaran akhir dari sistem ini. Seluruh pemrosesan citra dan kerja sistem akan ditunjang oleh Raspberry Pi.

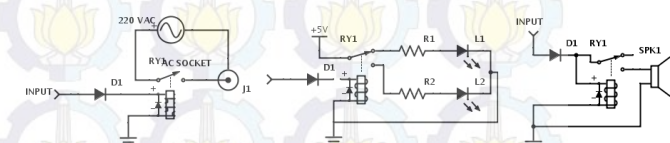
### A. Perancangan Rangkaian Elektrik

Rangkaian pembatas arus di sistem ini digunakan untuk membatasi arus yang digunakan untuk mengendalikan VFD. Rangkaian ini memiliki satu masukan dari sumber daya DC dan menurunkan arusnya tanpa menurunkan tegangan sehingga menghasilkan tiga keluaran +24 VDC dengan arus sebesar 24 mA. Rangkaian ini hanya berisi resistor sebesar 1 kΩ yang digunakan untuk mengurangi arus. Lalu ada juga rangkaian *pushbutton* yang berfungsi sebagai masukan ke PLC.



Gambar 2. Rangkaian pembatas arus dan *pushbutton*.

*Driver* pada sistem ini akan digunakan untuk memisahkan antara keluaran PLC dan Raspberry Pi, LED, dan *buzzer* yang memiliki persyaratan spesifikasi tegangan yang berbeda dengan spesifikasi tegangan dari keluaran PLC. Maka dari itu dirancang *driver* ini dengan *relay* eksternal untuk mengendalikannya. Keluaran PLC yang memiliki spesifikasi tegangan berbeda dengan perangkat akan digunakan untuk mengaktifkan gulungan *relay* yang selanjutnya akan mengaktifkan kontak *relay*. Kontak *relay* akan menyalurkan arus listrik dengan spesifikasi tegangan yang sesuai untuk perangkat dan menyalakannya.



Gambar 3. Rangkaian *driver*.

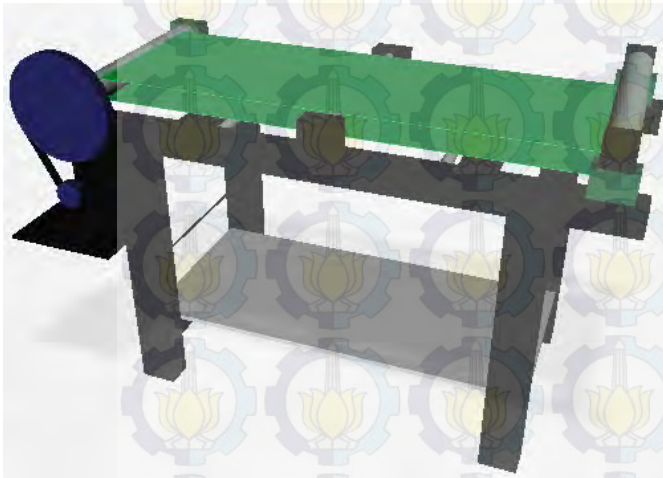
### B. Perancangan Mekanik

*Conveyor* terbuat dari plat besi baja setebal 2 mm. Keseluruhan sistem *conveyor* ini memiliki panjang 103 cm, lebar 47 cm, dan tinggi 65,5 cm dengan luas penampang sabuk *conveyor* sebesar 94×30 cm. Sistem ini dilengkapi dengan dua



rol di ujungnya dengan *bearing* untuk meletakkan sabuk karet *conveyor*. Salah satu rol bersifat tetap dan tersambung dengan sistem *belt* dan *pulley* yang digunakan sebagai penggerak *conveyor*, sedangkan rol lainnya dapat digeser untuk mengatur kekencangan sabuk *conveyor*. Lalu ada tiga rol yang lebih kecil dengan *bearing* yang digunakan untuk memuluskan jalannya sabuk. Berikut ini merupakan gambar dari perancangan mekanik.

Lalu ditambahkan rak sistem penggerak, digunakan plat besi baja setebal 2 mm seluas 25×20 cm yang dilas dan dibaut di samping *conveyor* dan dapat diatur tingginya. Sedangkan untuk rak sistem-sistem lainnya, digunakan akrilik setebal 5 mm seluas 70×39 cm yang dipasang di rangka kaki-kaki *conveyor*. Kemudian ada juga rol tambahan untuk menjepit kertas tisu dan batang besi untuk meletakkan kertas tisu



Gambar 4. Rancangan mekanik keseluruhan.

Ada dua *pulley* yang digunakan di sistem ini, *pulley* yang lebih kecil disambungkan dengan motor induksi 3 fasa dan yang lebih besar disambungkan ke *conveyor*. Sistem ini dirancang agar motor dapat berputar di frekuensi yang stabil tetapi tetap bisa memutar *conveyor* cukup pelan agar sistem pendeteksi lubang berjalan sempurna. Dengan kecepatan yang pelan dan torsi yang lebih besar di *conveyor*, motor juga lebih ringan memutar *conveyor*. Kedua *pulley* ini berdiameter 20,32 cm dan 5,08 cm dengan jarak antara kedua porosnya sejauh 16,5 cm berasio sebesar 4:1.

#### C. Programmable Logic Controller (PLC)

PLC OMRON CPM2A-20CDR-A adalah PLC berjenis *compact* dengan 12 masukan digital dan 8 keluaran digital. PLC ini berkerja dengan suplai daya 100-240 VAC untuk menjalankannya. Tegangan yang digunakan oleh keluaran dari PLC ini adalah +24 VDC. Keluaran dari PLC ini adalah keluaran *relay* dan disetel dengan konfigurasi *sourcing*. Konfigurasi dari I/O yang digunakan oleh sistem beserta perangkat apa saja yang terhubung dengan I/O tersebut dapat dilihat di tabel berikut.

Tabel 2.  
Konfigurasi I/O PLC.

Alamat	Jenis	Perangkat Keras	Sambungan
0.00	Masukan	Pushbutton "START"	+24 VDC Common
0.01	Masukan	Pushbutton "STOP"	+24 VDC Common
10.00	Keluaran	VFD (X1)	Common +24VDC
10.01	Keluaran	VFD (X2)	Common +24VDC
10.02	Keluaran	VFD (X3)	Common +24VDC
10.03	Keluaran	VFD (FWD)	Common +24VDC
10.04	Keluaran	VFD (REV)	Common +24VDC
10.05	Keluaran	Driver Raspberry Pi	Common +24VDC
10.06	Keluaran	Driver LED	Common +24VDC
10.07	Keluaran	Driver Buzzer	Common +24VDC

Komunikasi pada PLC menggunakan komunikasi *hostlink* di mana PC akan mengirim perintah ke PLC, perintah ini dapat digunakan untuk membaca atau menulis data di dalam PLC, PLC pun akan memberikan respon ke PC sesuai dengan perintah yang terkirim. Komunikasi *hostlink* ini menggunakan port RS-232C dari PLC.

#### D. Raspberry Pi

Raspberry Pi digunakan sebagai pusat proses utama dari keseluruhan sistem. SBC ini digunakan untuk menjalankan program utama dan mengendalikan seluruh keluaran. Program akan mendapatkan masukan dari modul kamera Raspberry Pi untuk diproses dan menghasilkan keluaran yang diteruskan ke PLC untuk diteruskan ke perangkat lainnya. Raspberry Pi ini membutuhkan daya sebesar +5 VDC dan 1,2 A. Tetapi karena banyak perangkat yang terhubung ke Raspberry Pi dan menggunakan cukup banyak daya, maka digunakan adaptor daya AC yang memiliki spesifikasi daya +5 V dan 2,5 A.

Alat ini juga dilengkapi modul kamera Raspberry Pi yang digunakan untuk mengambil video yang akan diolah oleh program pendeteksi lubang kertas tisu. Modul kamera ini terhubung ke Raspberry Pi melalui kabel pita ke *Camera Serial Interface (CSI) port* dari Raspberry Pi. Modul kamera ini dapat menangkap video 1080p hingga 30 fps, 720p hingga 60 fps, dan VGA hingga 90 fps. Modul kamera dapat diakses menggunakan *library Multi-Media Abstraction Layer (MMAL)*, *Video for Linux (V4L)*, dan lain-lain, tetapi sistem ini menggunakan V4L untuk mengakses modul kamera. Penggunaan modul ini jauh lebih efisien karena dapat mengoptimalkan *Graphic Processing Unit (GPU)* yang tidak dapat digunakan oleh *webcam*. Dengan modul ini program dapat menggunakan *Central Processing Unit (CPU)* dan GPU sekaligus [6].



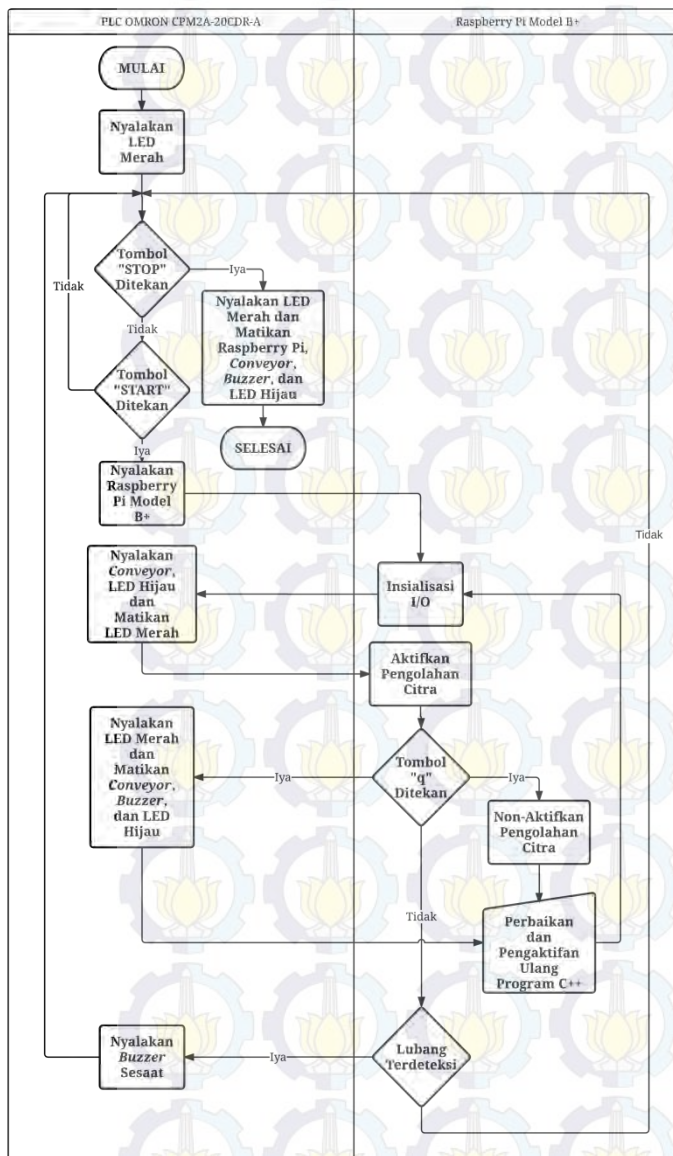
Tabel 3.  
Konfigurasi I/O Raspberry Pi Model B+.

Port	Jenis	Perangkat Keras
Micro-USB	Masukan	Adaptor Daya AC
CSI	Masukan	Modul Kamera Raspberry Pi
USB	Masukan	Keyboard dan Mouse
USB	Keluaran	PLC
HDMI	Keluaran	Layar
GPIO 4	Keluaran	+5 VDC Driver LED
GPIO 6	Keluaran	GND Driver LED

#### IV. PERANCANGAN PERANGKAT LUNAK

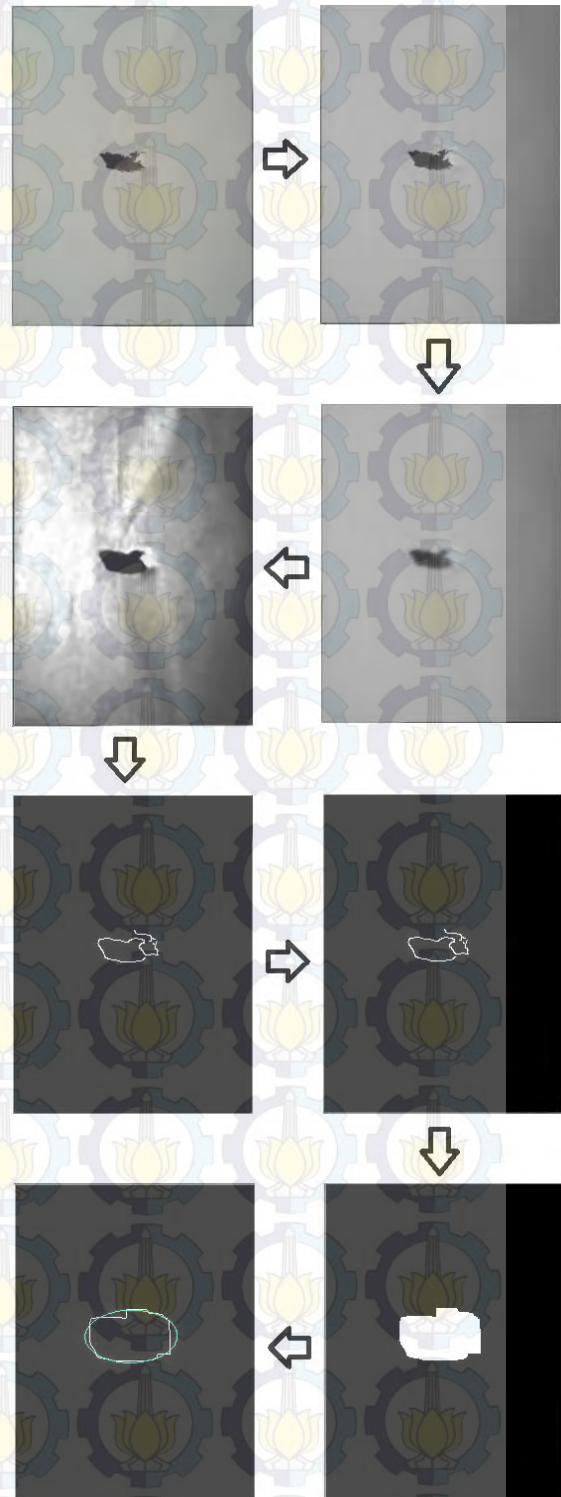
##### A. Program Raspberry Pi

Program di Raspberry Pi digunakan untuk mengolah citra dan berkomunikasi dengan PLC melalui komunikasi serial. Program ini memiliki cara kerja seperti gambar di bawah ini.



Gambar 5. Cara kerja program keseluruhan.

Pengolahan citra akan melakukan proses *grayscale*, yang diikuti oleh penghalusan, penyetaraan histogram, pendeteksian tepian Canny, *erode*, *dilate*, dan penemuan kontur [6]-[13]. Tujuh langkah pengolahan citra pada program ini akan menghasilkan pemrosesan citra seperti gambar berikut.



Gambar 6. Hasil pengolahan citra ketika terdeteksi lubang.

##### B. Program PLC

Pemrograman PLC ini dilakukan menggunakan CX-Programmer 9.5 di PC yang disambungkan ke PLC melalui



komunikasi serial RS-232. Program ini berbentuk *ladder diagram* dan digunakan untuk mengendalikan *buzzer* dan VFD. Berikut ini merupakan table konfigurasi alamat di PLC.

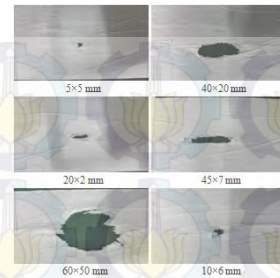
Tabel 4.  
Konfigurasi alamat PLC.

Alamat	Keterangan
200.00	Menyalakan alamat "10.07"
200.01	Mematikan alamat "10.07"
201.00	Menyalakan alamat "10.06"
201.01	Mematikan alamat "10.06"
202.00	Menyalakan alamat "10.00"
202.01	Mematikan alamat "10.00"
203.00	Menyalakan alamat "10.01"
203.01	Mematikan alamat "10.01"
204.00	Menyalakan alamat "10.02"
204.01	Mematikan alamat "10.02"
205.00	Menyalakan alamat "10.03"
205.01	Mematikan alamat "10.03"
206.00	Menyalakan alamat "10.04"
206.01	Mematikan alamat "10.04"
0.00	Menyalakan alamat "10.05"
0.01	Mematikan alamat "10.05"
10.00	Mengatur terminal "X1" VFD
10.01	Mengatur terminal "X2" VFD
10.02	Mengatur terminal "X3" VFD
10.03	Mengatur terminal "FWD" VFD
10.04	Mengatur terminal "REV" VFD
10.05	Mengatur Raspberry Pi
10.06	Mengatur LED
10.07	Mengatur <i>buzzer</i>

## V. PENGUJIAN

Pengujian ini merupakan pengujian keseluruhan sistem yang disusun oleh berbagai perangkat. Pertama kita menyambungkan PLC dengan sumber daya DC, *pushbutton*, pembatas arus, VFD, *driver-driver*, dan Raspberry Pi yang sudah disertai modul kamera melalui RS-232. Kemudian tekan tombol "START" dan system akan berjalan.

Ketika Raspberry Pi sudah selesai *booting*, maka program akan berjalan dan pendeteksi lubang akan aktif. *Buzzer* akan menyala jika mendeteksi lubang. Pengujian ini dilakukan dengan menempelkan kertas tisu ke sabuk *conveyor* dan memutarnya sehingga menyerupai proses penggulungan. Dalam pengujian ini kita menguji dengan 6 ukuran lubang yang berbeda dan di 7 macam kecepatan *conveyor* yang berbeda.



Gambar 7. Jenis dan ukuran lubang.

Dari pengujian ini kita melakukan pengujian terhadap keenam lubang di atas dan dijalankan di tujuh kecepatan yang berbeda. Pengujian dilakukan tiga kali untuk tiap jenis pengujian sehingga didapatkan data yang lebih akurat. Pengujian ini dimaksudkan untuk mengukur akurasi sistem di berbagai kecepatan dan jenis lubang sehingga kita mendapatkan kecepatan yang optimal untuk sistem.

Tabel 5.  
Persentase *error* pengujian keseluruhan sistem.

Kecepatan <i>Conveyor</i>	Error (%)
25 RPM	0
50 RPM	0
75 RPM	0
100 RPM	5,55
150 RPM	11,11
200 RPM	38,89
250 RPM	72,22

Jika dilihat dari tabel di atas maka dapat dilihat bahwa *error* mulai terjadi di kecepatan 100 RPM. *Error* ini terjadi karena *delay* dari terbatasnya kekuatan pemrosesan di Raspberry Pi sehingga membatasi kecepatan pendeteksian sistem. Sistem dapat bekerja optimal jika kertas tisu digulung dengan kecepatan di bawah 100 RPM. Jika kecepatan penggulungan melewati 100 RPM, maka mulai terjadi *error* dan sistem tidak bisa bekerja secara *real-time*.

## VI. KESIMPULAN

Setelah pengujian dilakukan, dari hasilnya dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

- 1) Nilai batas (*threshold*) gradien yang digunakan di fungsi pendeteksi tepian Canny pada program untuk mendeteksi lubang adalah 90° untuk nilai batas bawah dan 255° untuk nilai batas atas.
- 2) Sistem dapat mendeteksi lubang dengan optimal secara *real-time* jika kecepatan *conveyor* berada di bawah 100 RPM.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis A.R.M. mengucapkan terima kasih kepada Bapak Suwito, S.T., M.T., Bapak Ir. Hendra Kusuma M.Eng.SC., dan Bapak Ir. Tasripan, M.T. atas saran dan bimbingannya. Penulis juga berterimakasih pada Imam Shalahuddin Tonaziz atas saran dan kerjasamanya.



## DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. Purnomo, *Pengantar Teknik Industri*. Yogyakarta: Graha Ilmu (2004).
- [2] F. Bertini, and C. Rommel, "Can the Raspberry Pi Revolutionize the Low-End Industrial Computing Space?," *VDC Research* (2014, Apr.).
- [3] Raspberry Pi Foundation. (2014, Mei). Raspberry Pi FAQs [Online]. Available:  
<http://www.raspberrypi.org/help/faqs/>
- [4] *SYSMAC CPM1/CPM1A/CPM2A/CPM2C/SRM1(-V2) Programmable Controller PROGRAMMING MANUAL*. OMRON (2000).
- [5] Raspberry Pi Foundation. (2013, Juli). RaspiCam Documentation [Online]. Available:  
<http://www.raspberrypi.org/wp-content/uploads/2013/07/RaspiCam-Documentation.pdf>
- [6] OpenCV. (2014, Juli). Load, Modify, and Save an Image [Online]. Available:  
[http://docs.opencv.org/doc/tutorials/introduction/load\\_save\\_image/load\\_save\\_image.html](http://docs.opencv.org/doc/tutorials/introduction/load_save_image/load_save_image.html)
- [7] OpenCV. (2014, Juli). Smoothing Images [Online]. Available:  
[http://docs.opencv.org/doc/tutorials/imgproc/ gaussian\\_median\\_blur\\_bilateral\\_filter.html](http://docs.opencv.org/doc/tutorials/imgproc/ gaussian_median_blur_bilateral_filter/gaussian_median_blur_bilateral_filter.html)
- [8] OpenCV. (2014, September). Histogram Equalization [Online]. Available:  
[http://docs.opencv.org/doc/tutorials/imgproc/histograms/histogram\\_equalization/histogram\\_equalization.html](http://docs.opencv.org/doc/tutorials/imgproc/histograms/histogram_equalization/histogram_equalization.html)
- [9] OpenCV. (2014, Agustus). Canny Edge Detector [Online]. Available:  
[http://docs.opencv.org/doc/tutorials/imgproc/imgtrans/canny\\_detector/canny\\_detector.html](http://docs.opencv.org/doc/tutorials/imgproc/imgtrans/canny_detector/canny_detector.html)
- [10] OpenCV. (2014, Juli). Eroding and Dilating [Online]. Available:  
[http://docs.opencv.org/doc/tutorials/imgproc/erosion\\_dilatation/erosion\\_dilatation.html](http://docs.opencv.org/doc/tutorials/imgproc/erosion_dilatation/erosion_dilatation.html)
- [11] OpenCV. (2014, Juli). More Morphology Transformations [Online]. Available:  
[http://docs.opencv.org/doc/tutorials/imgproc/opening\\_closing\\_hats/opening\\_closing\\_hats.html](http://docs.opencv.org/doc/tutorials/imgproc/opening_closing_hats/opening_closing_hats.html)
- [12] OpenCV. (2014, September). Structural Analysis and Shape Descriptors [Online]. Available:  
[http://docs.opencv.org/modules/imgproc/doc/structural\\_analysis\\_and\\_shape\\_descriptors.html](http://docs.opencv.org/modules/imgproc/doc/structural_analysis_and_shape_descriptors.html)
- [13] J. Canny, "A Computational Approach to Edge Detection", *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence (TPAMI)*, Vol. PAMI-8 (1986, Nov.) 679-698.
- [14] S. Suzuki, and K. Abe, "Topological Structural Analysis of Digitized Binary Images by Border Following", *Computer Vision, Graphics, and Image Processing*, Vol. 30 (1985, Apr.) 32-46.